10～25 kg 仔猪赖氨酸需要量及其影响因素的 Meta 分析

向全航[1] 夏 茂[1] 夏 雄[1] 庞家满[1] 郑溜丰[1] 王 超[1] 彭 健[1,2*]

(1.华中农业大学动物科技学院，武汉 430070；2.湖北省生猪健康养殖协同创新中心，武汉 430073)

摘 要：本文旨在应用 Meta 分析方法研究 10～25 kg 仔猪赖氨酸（Lys）需要量及其影响因素。本研究检索了 1990 年至 2016 年期间发表的有关仔猪 Lys 需要量的研究，根据文献筛选标准共 17 篇文献被纳入研究。用二次曲线（QC）模型、线性平台（LP）模型和曲线平台（CLP）模型估计了标准回肠可消化赖氨酸（SID Lys）需要量。结果表明：LP 模型估计得到的 SID Lys 需要量较低，而 QC 和 CLP 模型的估计值较高且基本一致。其中，饲粮 SID Lys 含量变化不影响仔猪的平均日采食量（ADFI）（P_{QC}=0.828 0，P_{linear}=0.584 4）；以平均日增重（ADG）和料重比（F/G）为因变量，SID Lys 含量为自变量，用 QC 模型估计得出 10～25 kg 仔猪饲粮 SID Lys 需要量分别为 1.280%（P<0.000 1）和 1.260%（P<0.000 1）。饲粮类型以及遗传背景等因素影响 SID Lys 需要量。其中，玉米–豆粕饲粮和非玉米–豆粕饲粮的 SID Lys 需要量分别为 1.307%（P=0.005 0）和 1.138%（P=0.000 1）；中国地方猪种和瘦肉型猪种的 SID Lys 需要量分别为 1.060%（P=0.001 2）和 1.334%（P=0.004 3）。综上，为满足 10～25 kg 仔猪达到最佳生长性能，饲粮 SID Lys 需要量为 1.230%～1.280%，同时应考虑饲粮类型以及猪的遗传背景等因素。

关键词：10～25 kg 仔猪；Lys 需要量；影响因素；Meta 分析；分析模型

中图分类号：S828 文献标识码：A 文章编号：

赖氨酸（lysine，Lys）是猪常规饲粮中的第一限制性氨基酸。关于猪 Lys 需要量的研究报道很多，但这些研究结果的差异较大，可能与猪的体重、性别、蛋白质沉积的遗传潜力和试验环境等不同有关[1]。此外，评定动物最佳反应的统计方法、饲粮氨基酸的平衡状况以及动物饲粮类型等也会影响所预测的 Lys 需要量[2]。

Meta 分析是一种定量的综述方法，它通过对同一科学问题的多个独立研究结果进行综合比较分析来增加样本含量，从而提供参数统计功效[3]。Meta 分析已经广泛应用于国内外畜牧业研究中[4-5]。前人已经对猪的支链氨基酸（即色氨酸、缬氨酸和异亮氨酸）需要量[6-8]、奶牛产奶量[9]、生长肥育猪 Lys 需要量[10]、生物素和烟酸等对奶牛生产性能的影响[11-12]以及微量元素对肉鸡生产性能的影响[13]等进行了 Meta 分析研究，但未见关于仔猪 Lys 需要量的 Meta 分析报道。

预测动物营养物质需要量的常用方法包括二次曲线（quadratic curve，QC）模型[3,10-11,13-14]、线性平台（linear-plateau，LP）模型和曲线平台（curvilinear-plateau，CLP）模型[6]，即使使用相同的数据库，不同模型预测的营养物质需要量差异也较大[6]。因此，本研究旨在应用 QC、LP 和 CLP 模型，通过 Meta 分析研究 10～25 kg

收稿日期：2016-11-16

基金项目：973 计划“氮营养素的感应与肌肉蛋白质沉积”（2013CB127305）；湖北省科技计划重大项目（2016ABA113）；湖北省科技支撑计划项目（2014BBB007）；湖北省重大科技创新计划项目（2014ABB014）；教研创新项目“猪营养与饲料创新平台”（52204-1490113）

作者简介：向全航（1990—），男，湖北恩施人，硕士研究生，主要从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: xiangquanhang@webmail.hzau.edu.cn

*通信作者：彭 健，教授，博士生导师，E-mail: pengjian@mail.hzau.edu.cn

断奶仔猪 Lys 需要量，并分析影响 Lys 需要量的因素，为养猪生产和猪饲粮生产提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　文献检索

在 Web of science、PubMed、Elsevier、ScienceDirect、Wiley Online Library、Springer、Taylor & Francis Online 以及 OVID 农业电子信息平台等英文数据库中，输入关键词“pig”或“swine”、“lysine”、“requirement”或“supplementation”以及“growth”或“performance”；在中国知网、万方数据库、维普数据库、中国科学引文数据库（CSCD）等中文数据库中，输入“猪”、“赖氨酸”、“需要量”或“添加量”、“生长”或“生长性能”等关键词。检索时间范围为 1990 年至 2016 年，查阅相关的中文文献及硕士、博士毕业论文（不包含会议论文和未发表的研究）。

1.2　文献筛选标准

对所获得的文献按照以下标准进行筛选，即：1）文献的目的是研究猪 Lys 需要量；2）Lys 梯度水平不低于 3 个；3）提供了完整的饲粮配方；4）测定了平均日采食量（average daily feed intake，ADFI）、平均日增重（average daily gain，ADG）以及料重比（feed/gain，F/G）等生长性能数据。

1.3　数据收集与计算

在不同的研究中，分析不同营养水平下动物的饲养效果时，饲粮营养价值的评估可能是不可控制变异的重要因素。因此，在 Meta 分析中，要统一不同文献研究的饲粮组成和饲粮营养成分，根据文献中提供的饲粮配方重新计算每个试验饲粮的净能（net energy，NE）和氨基酸标准回肠消化率（standardized ileal digestibility，SID）。数据库中的每篇文献都提供了试验动物的初始体重，但有的文献未提供动物的终末体重，可以根据 ADG 和试验周期来计算缺失的终末体重；对于文献中未提供的 ADG，可以根据文献中的饲粮配方和 ADFI 等可利用的信息进行计算；如果文献中未提供 F/G，则根据 ADG 和 ADFI 进行计算。本研究中所出现各变量的单位如下：饲粮标准回肠可消化氨基酸（SID AA）含量用每千克饲粮所含有的氨基酸百分数来表示（%），能量单位为兆焦（MJ），体重为千克（kg），采食量以每天采食的克数表示（g/d），Lys 摄入量以每天采食的克数表示（g/d），日增重以每天增重的克数表示（g/d）。

1.4　统计分析

Meta 分析在多水平试验分析时，利用 SAS 软件的 Mixed 模型，首先假设研究间存在异质性（饲粮、品种、特殊添加剂使用、动物体况以及统计方法等），利用对研究间效应的校正剔除研究间的差异，从而将所有研究纳入同一个研究中，研究添加不同水平 Lys 对试验结果的影响[11]。

依变量（ADFI、ADG 和 F/G）和自变量[饲粮标准回肠可消化赖氨酸（SID Lys）]的关系利用 SAS 软件 PROC MIXED 语句进行分析，模型一般式如下：

$$Y_{ij}=B_0+B_1X_{ij}+B_2X^2_{ij}+S_i+b_{1i}X_{ij}+b_{2i}X^2_{ij}+e_{ij}。$$

式中：i 为研究个数(i=1,2,3,⋯,n_i)；j 为每个研究中的观察数(j=1,2,3,⋯,n_i)；B_0 为全部研究的总截距（固定效应）；B_1 和 B_2 分别为研究间的多项式一次项和二次项系数（固定效应）；X_{ij} 为第 i 个研究中第 j 个观察值的自变量 X；S_i 为第 i 个研究的随机效应截距；b_{1i} 和 b_{2i} 分别为第 i 个研究的多项式一次项和二次项系数（随机效应）；e_{ij} 为残差，服从 N（0,σ^2）分布（随机效应）。

SAS 混合效应代码如下：

```
dataex;do a=1 to n;input n @@;
doi=1 to n;input XZY@@;
Output;end;
cards;
PROC MIXED data=ex;
CLASS a;
MODEL Y=X Z/Solution OUTP=Predictionset OUTPM=PredY;
RANDOM intercept X/G SUBJECT=a;
RUN;
```

以校正后的 SID Lys 含量以及生长性能指标（ADFI、ADG 和 F/G）作为横坐标和纵坐标，分别用 QC 模型、LP 模型和 CLP 模型进行拟合。模型一般式如下：

QC 模型: $Y_{ij}=a+bX_{ij}+cX_{ij}^2$;

LP 模型: $Y_{ij}=L_i[1+U(R\text{-}X_{ij})]$ for $X_{ij}<R$; $Y_{ij}=L_i$ for $X_{ij}\geqslant R$;

CLP 模型: $Y_{ij}=L_i[1+U(R\text{-}X_{ij})^2]$ for $X_{ij}<R$; $Y_{ij}=L_i$for $X_{ij}\geqslant R$。

式中：Y_{ij} 为因变量（如 ADG、ADFI、F/G 等）；X_{ij} 为第 i 个研究中第 j 个观察值的自变量 X；i 为研究个数(i=1,2,3,⋯,33)；j 为每个研究中的观察数(j=1,2,3,⋯,n_i)；U，a，b，c 分别为常数；L_i 为因变量的最大预测值（平台）；R 为 Y_{ij} 达到最大值（Li）时的最小 X 值。

2　结　果

2.1　数据库

根据文献筛选标准进行筛选，共有 17 篇文献[2,15-30]纳入本研究中，筛选流程及文献淘汰情况如图 1 所示。分析所有纳入文献的试验设计，挑选文献中具体的研究组别，建立总数据库（附表 1）。



选题：10～25kg仔猪赖氨酸需要量及其影响因素的Meta分析

数据库: Web of science、PubMed、Elsevier、ScienceDirect、Wiley Online Library、Springer、Taylor & Francis Online OVID、中国知网、万方数据库、CSCD-中国科学引文等
关键词: “猪”；“生长性能”；“赖氨酸”；“需要量”
共检索到405 篇文献

筛选1:文献研究内容为猪的Lys需要量

√ 猪Lys需要量研究 203篇

× 试验动物不是猪或者氨基酸不是Lys 202篇

筛选2: 猪体重分布在5 kg 到 25 kg 之间(扩大筛选范围，防止误删)

√ 86 (5~25 kg)

× 117 (母猪，或者其他阶段)

筛选3: Lys梯度水平≥3，提供了完整的饲粮配方以及测定了生长性能数据

√ 32(5~25 kg,≥3个Lys水平)

× 54(5~30kg,<3个Lys水平) 或者没提供饲粮配方或生长性能数据

筛选4: 筛选出试验猪体重在10~15 kg之间的文献，共17篇被纳入Meta分析

图 1　Meta 分析文献筛选流程

Fig.1　Publications selecting process of Meta analysis

2.2 数据特征

本研究共纳入 17 篇文献，包含了 99 个研究组别，4 735 头仔猪。所有纳入文献中，16 篇文献的饲粮中添加了抗生素，1 篇文献的饲粮为无抗饲粮[21]。研究主要分布于美国（23.5%）、中国（29.4%）、巴西（23.5%）、加拿大（5.9%）、波兰（5.9%）、墨西哥（5.9%）和西班牙（5.9%）。所有纳入文献所使用的饲粮配方中，NE 含量都满足 NRC（2012）推荐标准。另外，还从部分研究能量和 Lys 比值的文献中挑选了能量满足需要量的研究组别纳入后续的分析中。

按照 NRC（2012）的饲料原料营养物质含量，重新计算了文献提供的饲粮配方，并通过回归分析检测了 SID Lys 的计算值与文献提供值的关系（图 2），结果显示计算值与文献提供值高度吻合（$P<0.000\ 1$，$R^2=0.916\ 2$）。所有纳入文献所报道的饲粮 Lys 含量与 ADG 的关系如图 3 所示。

批注 [U1]: 图中：“CSCD-中国科学引文”改为“中国科学引文数据库（CSCD）”

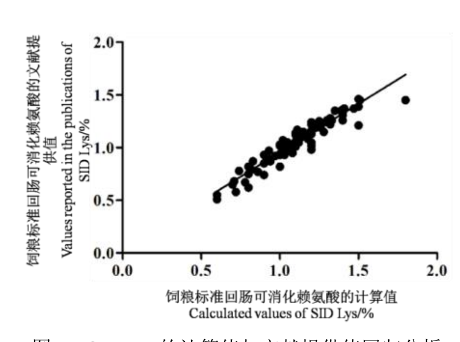


图 2　SID Lys 的计算值与文献提供值回归分析

Fig.2　Regression analysis of calculated values and values reported in the publications of SID Lys

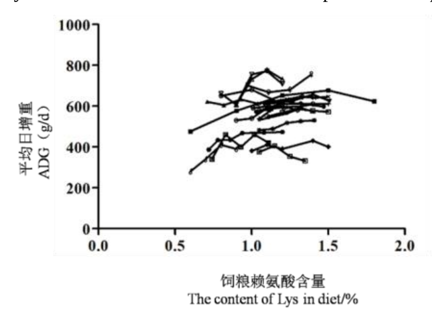


图 3　ADG 随饲粮 Lys 含量的变化趋势

Fig.3　The variation trend of ADG with the content of Lys in diet

2.3　10～25 kg 仔猪 SID Lys 需要量

以 SID Lys 为自变量，10～25 kg 仔猪的生长性能指标（ADFI、ADG 和 F/G）为因变量，分析了当仔猪达到最佳生长性能时所需要的最低饲粮 SID Lys 含量。分析结果显示，10～25 kg 仔猪的 ADFI 与饲粮 Lys 含量无显著二次曲线或线性关系（P_{QC}=0.828 0，P_{linear}=0.584 4）。仔猪 ADG 和 F/G 均与饲粮 Lys 含量有显著二次曲线关系（P<0.000 1）。

2.3.1　QC 模型估测 SID Lys 需要量

以 SID Lys 为自变量，校正后 ADG 和 F/G 为因变量，通过 QC 模型估计 10～25 kg 仔猪 SID Lys 需要量（表 1）。结果显示，SID Lys 需要量分别为 1.280%（$Y_{ADG}=-289.4X^2+741.3X+110.1$，$n$=99，$R^2$=0.745，$P$<0.000 1）和 1.260%（$Y_{F/G}=1.351X^2-3.406X+3.788$，$R^2$=0.895，$P$<0.000 1），对应的 ADG 和 F/G 分别为 584.8 g/d 和 1.64（图 4）。QC 模型得到的 SID Lys 需要量估计值略高于 NRC（2012）推荐需要量（11~25 kg，1.230%），NRC（2012）预估 ADG 和 F/G 分别为 585.0 g/d 和 1.63。

表 1　QC 模型、LP 模型和 CLP 模型参数表

Table 1　Parameter tables of quadratic curve model, linear-plateau model and curvilinear-plateau model

因变量 Dependent	模型 Model	最佳生长性能 Best growth	常数 Constant	最适标准回肠可消化赖氨酸需要量 Optimal	P 值 P-value

variable		performance（L）	（U）	SID Lys requirement (R)/%	
平均日增重 ADG/(g/d)	QC	584.8	-	1.280	<0.000 1
	LP	583.4	-243.7	1.102	<0.0001
	CLP	583.5	-291.6	1.274	<0.0001
料重比 F/G	QC	1.64	-	1.260	<0.0001
	LP	1.65	1.17	1.070	<0.0001
	CLP	1.65	1.46	1.230	<0.0001

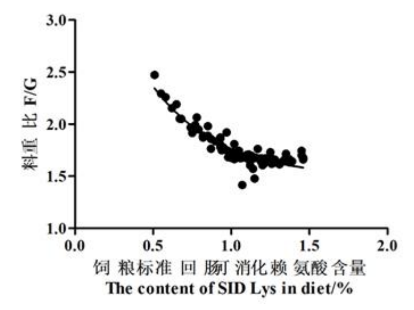


图 4　校正后 ADG 和 F/G 随饲粮 SID Lys 含量的变化趋势（QC 模型）

Fig.4　The variation trend of adjusted ADG and F/G with the content of SID Lys in diet (QC model)[2,15-30]

2.3.2　LP 和 CLP 模型估测 SID Lys 需要量

通过 LP 模型和 CLP 模型对 SID Lys 需要量进行了估计分析（图 5，表 1）。3 种模型分析估计的仔猪最佳生长性能相近，但最适 SID Lys 需要量却不完全一致。其中，LP 模型估测的最适 SID Lys 需要量为 1.102%（以 ADG 为因变量）和 1.070%（以 F/G 为因变量），该 SID Lys 含量不仅低于 NRC（2012）推荐值，同时也低于 CLP 模型[1.274%（以 ADG 为因变量）和 1.230%（以 F/G 为因变量）]和 QC 模型[1.280%（以 ADG 为因变量）和 1.260%（以 F/G 为因变量）]估测的 SID Lys 需要量。

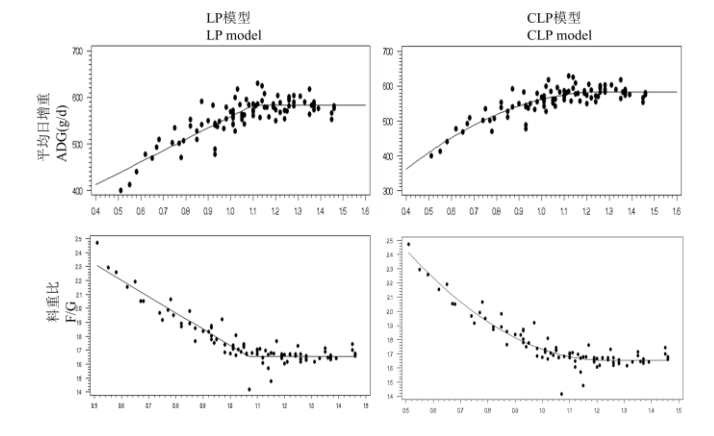


图 5　校正后 ADG 和 F/G 随饲粮 SID Lys 含量的变化趋势（LP 和 CLP 模型）

Fig.5　The variation trend of adjusted ADG and F/G with the content of SID Lys in diet (LP and CLP model)

2.4　10～25 kg 仔猪 SID Lys 需要量的影响因素

2.4.1　饲粮类型

根据饲粮中能量饲料原料的组成，将饲粮分为玉米–豆粕型饲粮和非玉米–豆粕型饲粮，2 者的 SID Lys 需要量分别为 1.307%（P=0.005）和 1.138%（P=0.000 1），对应的 ADG 分别为 592.5 g/d 和 548.1 g/d。这表明用非玉米–豆粕型饲粮饲喂的仔猪生长性能低于玉米–豆粕型饲粮，而对应的 SID Lys 需要量也相对较低（图 6）。

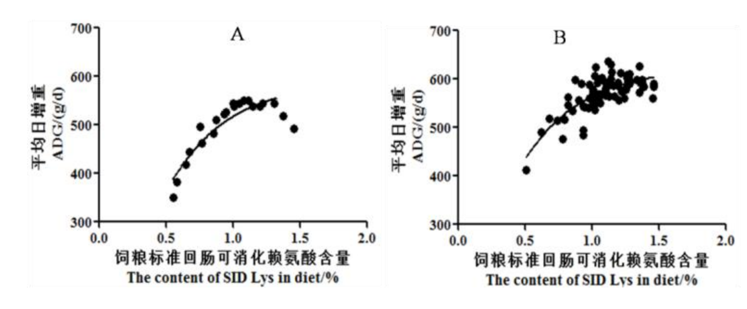


图 6　非玉米–豆粕型饲粮（A）与玉米–豆粕型饲粮（B）对 SID Lys 需要量的影响

Fig.6　Effects of non corn-soybean meal diet (A) [15,19,21,24,29] and corn-soybean meal diet (B) [2,16-18,20,22-23,25-28,30] on SID Lys requirement

$$Y_{非玉米\text{-}豆粕型}=-537.5X^2+1\,223.0X-147.6\ (R^2=0.968,\ n=21,\ P=0.000\,1)$$

$$Y_{玉米\text{-}豆粕型}=-257.2X^2+672.1X+153.4\ (R^2=0.612,\ n=78,\ P=0.005\,0)$$

2.4.2　遗传背景

中国地方猪种最适 SID Lys 需要量为 1.060%（P=0.001 2），而其对应的 ADG 为 425.4 g/d；杂交瘦肉型猪种最适 SID Lys 需要量为 1.334%（P=0.004 3），对应的 ADG 为 632.2 g/d（图 7）。说明中国地方猪种的生长性能低于瘦肉型猪种，同时，满足地方猪种生长所需要的饲粮 SID Lys 含量也相对较低。

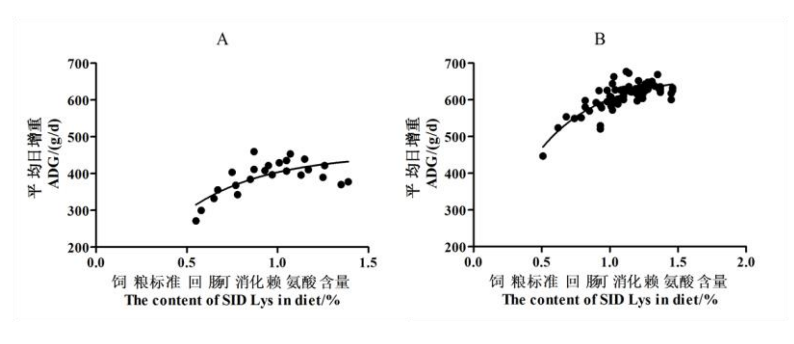


图 7　中国地方猪种（A）与瘦肉型猪种（B）饲粮 SID Lys 需要量

Fig.7　Dietary SID Lys requirement of Chinese local pig breed (A) [21,26-27,29-30] and lean-type pig breed (B) [2,15-20,22-25,28]

$$Y_{地方猪}=-553.2X^2+1173.0X-196.4\ (R^2=0.793,\ n=24,\ P=0.0012)$$

$$Y_{瘦肉型猪}=-245.6X^2+655.3X+195.1$$（R^2=0.659，n=75，P=0.0043）

3 讨 论

3.1 分析模型

本研究使用 3 种不同的分析模型（QC、LP 和 CLP 模型），分析过程都利用 SAS 9.4 软件完成 10～25 kg 仔猪的 SID Lys 需要量[14,31-32]。用相同数据库进行分析后，QC 模型和 CLP 模型估计的 SID Lys 需要量非常接近，SID Lys 需要量分别为 1.280%（ADG）、1.260%（F/G）和 1.274%（ADG）、1.230%（F/G）；而用 LP 模型得到的 SID Lys 需要量估计值[1.102%（ADG）、1.070%（F/G）]则与 CLP 和 QC 模型得到的估计值不同。

分析模型的选择是影响营养物质需要量估计值的重要因素[3]。在评估动物对不同浓度梯度饲粮的反应时，LP 模型曾被认为是估计动物营养物质需要量较好的模型[33-34]，但 LP 模型通常会低估氨基酸的需要量[35]。因此，Baker[33]建议用 CLP 模型来描述动物群体的曲线反应，并估计营养物质需要量。Simongiovanni 等[6]在 2012 年对色氨酸（Trp）需要量的 Meta 分析中，也比较了 LP 模型和 CLP 模型的优劣，并认为 CLP 模型更适用于估计氨基酸的需要量。St-pierre[10]则在 2001 年详细阐明了应用 QC 模型估计动物营养物质需要量的方法。CLP 和 QC 模型分别为：$Y_{ij}=L_i[1+U(R-X_{ij})^2]$ for $X_{ij}<R$; $Y_{ij}=L_i$ for $X_{ij}\geqslant R$ 和 $Y_{ij}=a+bX_{ij}+cX_{ij}^2$。这表明，CLP 模型在拐点（$X_{ij}=R$ 时）之前的增长趋势曲线与 QC 模型相同。为了保证 CLP 模型中曲线的连续和平滑性，平台期的水平直线（$Y=L_{ij}$ 时）需与增长期二次曲线相切[31]。因此，CLP 模型中的拐点与 QC 模型的顶点接近，因此本研究分析结果符合统计学规律。

需要注意的是，尽管用 QC 模型和 CLP 模型估计的营养物质需要量接近，但是所代表的生物学意义还是有区别的。在 CLP 模型中，最佳的营养物质需要量是指二次曲线阶段和平台阶段之间的拐点。从这个拐点往上继续增加饲粮 Lys 含量，仔猪的生长性能不再受饲粮 SID Lys 含量的影响；但在 QC 模型中，生长性能达到二次曲线顶点后，继续增加饲粮 SID Lys 含量，仔猪生长性能则会受到抑制，呈下降趋势。因此，CLP 模型估计的拐点是为达到最佳生长性能的营养物质最低需要量，是降低生产成本和提高生长性能的营养物质理想水平；而 QC 模型的顶点则是达到最佳生长性能的营养物质最高需要量，一旦超过这个水平，动物的生长性能就降低了。

Lys 是以谷物类饲料原料为基础饲粮的第一限制性氨基酸。Lys 主要用于合成蛋白质，特别在幼龄动物体内，用于合成蛋白质的 Lys 比例高达 80%[36]。NRC（2012）推荐了不同阶段仔猪的 Lys 需要量，其中断奶仔猪在 5～25 kg 的 Lys 需要量被分为 3 个阶段，5～7 kg、8～11 kg 和 12～25 kg 推荐需要量分别为 1.50%、1.35%和 1.23%。但在我国实际养猪生产中，仔猪通常在 21～23 d 断奶，断奶体重接近 7 kg；然后继续用教槽料饲喂 2 周，体重达到 10 kg 左右；然后用保育料饲喂到 9 周龄或 10 周龄、体重 25～30 kg 左右。因此，本研究综合 10～25 kg 仔猪 SID Lys 需要量进行 Meta 分析，对于指导我国养猪生产是很有意义的。

3.2 10～25 kg 仔猪 SID Lys 需要量的影响因素

3.2.1 饲粮因素

小麦和大麦等谷物是玉米的重要替代物，但是小麦和大麦中含有较多的粗纤维和可溶性纤维[37]。普通玉米的粗纤维含量为 1.2%～1.6%，中性洗涤纤维含量为 9.4%，酸性洗涤纤维含量为 3.5%；小麦、大麦等谷物的粗纤维含量为 2.0%～2.2%，带皮大麦的粗纤维含量甚至高达 4.8%，小麦和大麦的中性洗涤纤维含量高达 10%～18%，

酸性洗涤纤维含量为 3.9%。到目前为止，虽然无饲粮纤维含量直接影响 Lys 需要量的研究报道，但有研究发现，纤维是仔猪肠道菌群的重要能源物质，且可能促进肠道微生物区系和发酵指标的改善[38-40]，降低仔猪腹泻，促进消化器官的完善，提高消化酶活性[41]。本研究比较了以玉米、豆粕为基础的试验饲粮（玉米–豆粕型）和以小麦、大麦等混合型谷物为基础的试验饲粮（非玉米–豆粕型），结果显示，估计得到的玉米–豆粕型饲粮和非玉米–豆粕型饲粮中 SID Lys 需要量分别为 1.307%（P=0.005 0）和 1.138%（P=0.000 1），相应的 ADG 分别为 592.5 g/d 和 548.1 g/d。这意味着以玉米、豆粕作为基础饲粮时，10～25 kg 仔猪 SID Lys 需要量应该达到 1.307%，高于 NRC（2012）推荐量，能使仔猪的 ADG 更高；但使用小麦、大麦等能量饲料替代玉米时，仔猪的 SID Lys 需要量较低，但同时仔猪 ADG 也相应低于玉米–豆粕型饲粮。

3.2.2 遗传背景

本研究纳入了满足筛选标准的所有有关 Lys 需要量的文献，其中包括中国地方猪种和瘦肉型猪种。将中国地方猪种和瘦肉型猪种比较分析时，结果发现，中国地方猪种的生长性能低于瘦肉型猪种，SID Lys 需要量分别为 1.060%（P=0.001 2）和 1.334%（P=0.004 3），相应的 ADG 分别为 425.4 和 632.2 g/d。这表明，中国地方猪的遗传潜力较差，生长速度较慢，因此满足其生长所需要的饲粮 SID Lys 含量较低。而对于生长性能更好的瘦肉型猪种来说，其 ADG 比 NRC（2012）估计值高 47.2 g/d。动物品种及饲养管理在近些年不断改进提升，使得猪饲粮利用率不断提高[6]，Nemechek 等[42]学者在 2012 年已经指出了 NRC（1998）推荐的饲粮 Lys 含量不足（10～20 kg，1.01%），且 NRC（2012）在 Lys 需要量方面做了相应的上调。本研究 Meta 分析结果说明，NRC（2012）所推荐的 Lys 需要量可能稍低于满足瘦肉型猪种达到最佳生长性能的需要量。

4 结 论

应用 QC 模型和 CLP 模型估计，为满足 10～25 kg 仔猪达到最佳生长性能的 SID Lys 需要量为 1.230%～1.280%，NRC（2012）推荐量分阶段为 5~7、7~11 和 11~25 kg，推荐的 SID Lys 需要量分别为 1.50%、1.35%和 1.23%，本 Meta 分析结果与 NRC（2012）推荐量基本吻合；但考虑到实际生产中仔猪阶段划分不够精细的情况下，10~25 kg 断奶仔猪 SID Lys 需要量可能高于 NRC（2012）推荐量。同时，还应考虑饲粮氨基酸平衡性、饲粮类型以及猪的遗传背景等差异。其中，玉米–豆粕型饲粮和非玉米–豆粕型饲粮 SID Lys 需要量分别为 1.307%和 1.138%；中国地方猪种和瘦肉型猪种 SID Lys 需要量分别为 1.060%和 1.334%。在猪的饲粮生产和养猪生产中，应考虑这些因素对 Lys 需要量的影响，合理满足需要。

致谢：

感谢兰州大学草地农业科技学院李飞教授和华中农业大学理学院易鸣教授和张芯同学在数据分析方面的帮助。

参考文献：

[1]VANMILGEN J,VALANCOGNE A,DUBOISS,et al.InraPorc:a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2008,143(1/2/3/4):387–405.

[2]KENDALL D C,GAINES A M,ALLEE G L,et al.Commercial validation of the true ileal digestible lysine requirement for eleven-to twenty-seven-kilogram pigs[J].Journal of Animal Science,2008,86(2):324–332.

[3]SAUVANT D,SCHMIDELY P,DAUDIN J J,et al.Meta-analyses of experimental data in animal

nutrition[J].Animal,2008,2(8):1203–1214.

[4] PASTORELLI H,VAN M J,LOVATTO P,et al.Meta-analysis of feed intake and growth responses of growing pigs after a sanitary challenge[J].Animal,2012,6(6):952–961.

[5] LONCKE R,DEWULF J,VANDERHAEGHE C,et al.Non-infectious causes of piglet mortality before weaning.Part 2:factors related to the sow and the environment[J].Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift,2009,78(2):71–81.

[6] SIMONGIOVANNI A,CORRENT E,LE F N,et al.Estimation of the tryptophan requirement in piglets by meta-analysis[J].Animal,2012,6(4):594–602.

[7] VAN MILGEN J,GLOAGUEN M,FLOC'H N L,et al.Meta-analysis of the response of growing pigs to valine content of the diet[M]//OLTJEN J W,KEBREAB E,LAPIERRE H.Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production.The Netherlands:Wageningen Academic Publishers,2013:339–340.

[8] VAN MILGEN J,GLOAGUEN M,LE FLOC'H N,et al.Meta-analysis of the response of growing pigs to the isoleucine concentration in the diet[J].Animal,2012,6(10):1601–1608.

[9] DANIEL J B,FRIGGENS N C,CHAPOUTOT P,et al.Milk yield and milk composition responses to change in predicted net energy and metabolizable protein:a meta-analysis[J].Animal,2016,10(12):1975–1985.

[10] 张国华.精准饲养模式下生长育肥猪赖氨酸动态需要量的评估[D].博士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2011.

[11] 陈波.基于 Meta 分析对生物素影响奶牛生产性能效果的研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2011.

[12] 赵睿,李华伟,徐进昊.烟酸对奶牛产奶性能影响的 Meta 分析[J].饲料广角,2016(8):24–27.

[13] 陈思.微量元素对肉鸡生产性能影响的 Meta 分析[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2013.

[14] ST-PIERRE N R.Invited review:integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology[J].Journal of Dairy Science,2001,84(4):741–755.

[15] NAM D S,AHERNE F X.The effects of lysine:energy ratio on the performance of weanling pigs[J].Journal of Animal Science,1994,72(5):1247–1256.

[16] SMITH 等.日粮赖氨酸与能量比值对仔猪生长性能的影响[J].赵华成译.国外畜牧科技,2001,28(4):16–17.

[17] ABREU M L T D,DONZELE J L,OLIVEIRA R F M D,et al.Dietary digestible lysine levels,using the ideal protein concept,for barrows with high genetic potential from 15 to 30 kg[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2006,35(3):1039–1046.

[18] FRAGA A L,MOREIRA I,FURLAN A C,et al.Lysine requirement of starting barrows from two genetic groups fed on low crude protein diets[J].Brazilian Archives of Biology and Technology,2008,51(1):49–56.

[19] FIGUEROA J L,ESTRADA J,ZAMORA V,et al.Digestible lysine levels in low-protein diets supplemented with synthetic amino acids for nursery,growing,and finishing barrows[J].Irish Journal of Agricultural and Food Research,2012,51(1):33–44.

[20] YI G F,GAINES A M,RATLIFF B W,et al.Estimation of the true ileal digestible lysine and sulfur amino acid

requirement and comparison of the bioefficacy of 2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid and *DL*-methionine in eleven-to twenty-six-kilogram nursery pigs[J].Journal of Animal Science,2006,84(7):1709–1721.

[21] NIETO R,BAREA R,LARA L,et al.Lysine requirement relative to total dietary protein for optimum performance and carcass protein deposition of Iberian piglets[J].Animal Feed Science and Technology,2015,206:48–56.

[22]OLIVEIRA A L S D,DONZELE J L,OLIVEIRA R F M D,et al.Dietary digestible lysine requirement of barrows with high genetic potential for lean gain in the carcass from 15 to 30 kg[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2006,35(6):2338–2343.

[23] PASQUETTI T J,POZZA P C,MOREIRA I,et al.Simultaneous determination of standardized ileal digestible tryptophan and lysine for barrows from 15 to 30 kg live weight[J].Livestock Science,2015,181:114–120.

[24] URYNEK W,BURACZEWSKA L.Effect of dietary energy concentration and apparent ileal digestible lysine:metabolizable energy ratio on nitrogen balance and growth performance of young pigs[J].Journal of Animal Science,2003,81(5):1227–1236.

[25] WILLIAMS N H,STAHLY T S,ZIMMERMAN D R.Effect of level of chronic immune system activation on the growth and dietary lysine needs of pigs fed from 6 to 112 kg[J].Journal of Animal Science,1997,75(9):2481–2496.

[26] 王英.关中黑猪保育和生长育肥阶段适宜 SID 赖氨酸与代谢能比对生长发育的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2014.

[27] 席鹏彬,郑春田.赖氨酸水平对仔猪生长表现、血清尿素氮及游离赖氨酸浓度的影响[J].养猪,2003(5):1–3.

[28] 乔岩瑞.同时测定保育后期仔猪赖氨酸和苏氨酸需要量的试验[J].养猪,2005(3):1–2.

[29] 远德龙,姜建阳,韩先杰,等.15~30 kg 烟台黑猪可消化赖氨酸需要量的研究[J].中国畜牧杂志,2015,51(7):59–64.

[30] 朱绍伟,宋春阳,林宗强,等.鲁莱配套系断奶仔猪对赖氨酸需要量的研究[J].饲料工业,2009,30(11):7–9.

[31] SAS Institute Inc.SAS/STAT® 9.2 User's Guide[M].2nd ed.Cary,NC:SAS Institute Inc,2009. [32]THOMAS M. LOUGHIN.SAS® for mixed models, 2nd edition edited by Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D., and Schabenberger, O.[J]. Biometrics, 2006,62(4):1273–1274.

[33]BAKER D H.Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients[J].The Journal of Nutrition,1986,116(12):2339–2349.

[34] HAZZLEDINE M J,VERNON B G,CAMPBELL R J.Nutrient requirement standards for pigs[J]. 2003.

[35]MORRIS T R.Interpretation of response data from animal feeding trials[J].Recent Advances in Animal Nutrition,1983.

[36]KLASING K C.Minimizing amino acid catabolism decreases amino acid requirements[J].The Journal of Nutrition,2009,139(1):11–12.

[37]马艳凤.糙米、小麦代替玉米及添加酶制剂对断奶仔猪生产性能和消化率的影响研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2002.

[38]金立志,宋群青,袁保京.膳食纤维在断奶仔猪饲料中的功能特性[J].中国畜牧杂志,2016,52(4):24–30.

[39]陈瑾,邹成义,杨加豹,等.日粮纤维对猪肠道微生态环境的影响研究进展[J].中国饲料,2014(3):37–41.

[40]HERMES R G,MOLIST F,YWAZAKI M,et al.Effect of dietary level of protein and fiber on the productive performance and health status of piglets[J].Journal of Animal Science,2009,87(11):3569–3577.

[41]杨玉芬,卢德勋,许梓荣.日粮纤维对仔猪生长性能和消化生理功能的影响[J].动物营养学报,2009,21(6):816–821.

[42]NEMECHEK J E,GAINES A M,TOKACH M D,et al.Evaluation of standardized ileal digestible lysine requirement of nursery pigs from seven to fourteen kilograms[J].Journal of Animal Science,2012,90(12):4380–4390.

[43]WILTAFSKY M K,SCHMIDTLEIN B,ROTH F X.Estimates of the optimum dietary ratio of standardized ileal digestible valine to lysine for eight to twenty-five kilograms of body weight pigs[J].Journal of Animal Science,2009,87(8):2544–2553.

[44]卢永红.瘦肉猪饲养:赖氨酸和蛋氨酸及其他氨基酸营养进展[J].国外畜牧学:饲料,1992(3):33–34.

Lysine Requirement and Its Influence Factors of 10 to 25 kg Piglets: a Meta-Analysis

XIANG Quanhang[1] XIA Mao[1] XIA Xiong[1] PANG Jiaman[1] ZHENG Liufeng[1] WANG Chao[1] PENG Jian[1,2*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Huazhong Agricultural University*, *Wuhan* 430070, *China;* 2. *The Cooperative Innovation Center for Sustainable Pig Production of Hubei Province*, *Wuhan* 430073, *China*)

Abstract: This study was conduct to research the lysine (Lys) requirement and its influence factors of 10 to 25 kg piglets by a meta-analysis. The publications searching for the Lys requirement of piglets published from 1990 to 2016 years were retrieved, and seventeen publications were selected according publication selecting criteria. The quadratic curve (QC), linear-plateau (LP) and curvilinear-plateau (CLP) models were used to estimate the standard ileal digestible lysine (SID Lys) requirement. The results showed that the SID Lys requirement estimated by CLP model was similar to that estimated by QC model, which was higher than that estimated by LP model. The content of SID Lys in diet had no effect on the average daily feed intake (ADFI) of piglets (P_{QC}=0.828 0, P_{linear}=0.584 4). Using average daily gain (ADG)and the ratio of feed to gain (F/G) as dependent variable, the content of SID Lys as independent variable, the SID Lys requirement in diet of piglets from 10 to 25 kg were 1.280% (P<0.000 1) and 1.260% (P<0.000 1) estimated by QC model, respectively. Moreover, the SID Lys requirement was affected by diet type and genetic background and so on. The SID Lys requirement of corn-soybean meal diet and non corn-soybean meal diet were 1.307% (P=0.005 0) and 1.138% (P=0.000 1), respectively; and the SID Lys requirement of Chinese local pig breed and lean-type pig breed were 1.060% (P=0.001 2) and 1.334% (P=0.004 3), respectively. In conclusion, the SID Lys requirement in diet recommended at 1.230% to 1.280% for 10 to 25 kg piglets to achieving the best growth performance. Meanwhile, diet type and genetic background of pigs and so on should be taken into consideration.

Keywords: 10～25 kg piglets; Lys requirement; influence factors; meta-analysis; statistical model calculated values and values reported in the publications of SID Lys

*Corresponding author, professor, E-mail: pengjian@mail.hzau.edu.cn （责任编辑　李慧英）

附表 1　Meta 分析数据库

Schedules 1　Database of meta-analysis

编号 No.	参考文献（发表年）References (published year)	组别 Group	处理 Treatment	赖氨酸文献提供值 Values reported in the publications of Lys/%	标准回肠可消化氨基酸计算值 Calculated values of SID AA/% Lys	Met	Thr	Trp	生长性能 Growth Performance ADG/(g/d)	ADFI/(g/d)	F/G	初重 Initial weight/kg	末重 Final weight/kg	抗生素 Antibiotics	遗传背景 Genetic background	饲粮 Diet
1	Nam 等[15]（1994）	T3 G1	1	1.03	0.93	0.28	0.59	0.21	572	1 009	1.76	9.1	21.1	+	长×大	小麦–大麦–去壳燕麦–豆粕
		T3 G2	1	1.18	1.08	0.28	0.59	0.21	610	1 016	1.67	9.1	21.9			
		T3 G3	1	1.32	1.22	0.28	0.59	0.21	614	1 027	1.67	9.1	22.0			
		T3 G4	1	1.47	1.37	0.28	0.59	0.21	597	985	1.65	9.1	21.6			
2	Williams 等[25] (1997)	Low G1	2	0.60	0.51	0.19	0.40	0.11	476	1 114	2.34	6.0	27.0	+	（杜×汉普夏）×（长×大）	玉米–豆粕–乳清粉–脱脂牛奶
		Low G2	2	0.90	0.74	0.23	0.53	0.16	577	1 052	1.82	6.0	27.0			
		Low G3	2	1.20	0.98	0.28	0.66	0.21	652	990	1.52	6.0	27.0			
		Low G4	2	1.50	1.21	0.38	0.79	0.26	677	977	1.44	6.0	27.0			
		Low G5	2	1.80	1.45	0.53	0.92	0.32	624	968	1.55	6.0	27.0			
3	Smith 等[16] (2001)	T2 G1	3	0.71	0.68	0.29	0.70	0.24	621	1 006	1.62	9.0	26.0	+	杂交猪	玉米–豆粕
		T2 G2	3	0.82	0.79	0.29	0.70	0.24	605	943	1.56	9.0	26.0			
		T2 G3	3	0.93	0.90	0.29	0.70	0.24	633	941	1.49	9.0	26.0			
		T2 G4	3	1.04	1.01	0.29	0.70	0.24	612	878	1.43	9.0	26.0			
4	Urynek 等[24] (2003)	T2 G1	4	1.08	1.01	0.34	0.65	0.23	608	1 015	1.67	12.8	29.8	+	杂交猪	小麦–大麦–豆粕
		T2 G2	4	1.28	1.15	0.39	0.74	0.23	629	1 016	1.62	13.4	31.0			
		T2 G3	4	1.40	1.31	0.48	0.83	0.25	657	1 019	1.55	13.1	31.5			
		T2 G4	4	1.51	1.45	0.57	0.92	0.27	625	1 016	1.63	13.0	30.5			
5	席鹏彬等[27] (2003)	1	5	1.00	0.93	0.32	0.61	0.18	380	720	1.89	8.0	18.5	+	大×长×北京黑猪	玉米–豆粕–鱼粉–乳清粉
		2	5	1.10	1.01	0.30	0.62	0.20	410	730	1.78	8.0	19.4			
		3	5	1.20	1.13	0.31	0.65	0.20	390	680	1.74	8.0	18.8			
		4	5	1.40	1.26	0.37	0.72	0.20	430	710	1.65	8.0	19.8			
		5	5	1.50	1.39	0.42	0.78	0.20	400	650	1.63	8.0	19.2			
6	乔岩瑞[28] (2005)	1	6	0.90	0.85	0.24	0.55	0.05	530	920	1.74	11.3	22.6	+	Genetiporc	玉米–豆粕
		2	6	1.00	0.94	0.30	0.61	0.05	540	870	1.61	11.3	22.6			

		3	6	1.10	1.04	0.35	0.67	0.06	590	920	1.56	11.3	22.6			
		4	6	1.20	1.14	0.41	0.74	0.07	600	930	1.55	11.3	22.6			
		5	6	1.30	1.24	0.46	0.80	0.07	580	900	1.55	11.3	22.6			
		Exp.1 G1	7	1.10	1.06	0.30	0.70	0.25	549	853	1.55	12.0	23.6			
		Exp.1 G2	7	1.20	1.16	0.30	0.70	0.25	568	875	1.54	12.3	24.2			
7	Yi 等[20] (2006)	Exp.1 G3	7	1.30	1.26	0.30	0.70	0.25	586	889	1.52	12.3	24.6	+	Triumph 4×PIC C22	玉米–豆粕
		Exp.1 G4	7	1.40	1.36	0.30	0.70	0.25	577	853	1.48	12.3	24.4			
		Exp.1 G5	7	1.50	1.46	0.30	0.70	0.25	572	853	1.49	12.2	24.4			
		1	8	0.90	0.93	0.25	0.59	0.05	607	1 042	1.72	15.8	30.2			
8	Abreu 等[17] (2006)	2	8	1.00	1.02	0.29	0.62	0.05	732	1 092	1.49	15.8	30.2	+	杂交猪	玉米–豆粕
		3	8	1.10	1.12	0.35	0.68	0.05	778	1 097	1.41	15.8	30.2			
		4	8	1.20	1.22	0.41	0.74	0.07	731	1 057	1.45	15.8	30.2			
		1	9	0.80	0.82	0.23	0.54	0.05	661	1 167	1.77	15.0	30.0			
		2	9	0.90	0.93	0.25	0.59	0.05	607	1 042	1.72	15.0	30.0			
9	Oliveira 等[22] (2006)	3	9	1.00	1.03	0.26	0.65	0.05	755	1 165	1.54	15.0	30.0	+	杂交猪	玉米–豆粕
		4	9	1.10	1.14	0.28	0.70	0.05	771	1 066	1.38	15.0	30.0			
		5	9	1.20	1.24	0.30	0.76	0.05	708	1 036	1.46	15.0	30.0			
		Exp.1 G1	10	1.05	0.98	0.29	0.65	0.23	579	855	1.47	11.5	27.0			
		Exp.1 G2	10	1.12	1.05	0.33	0.69	0.23	583	841	1.45	11.5	27.0			
10	Kendall 等[2] (2008)	Exp.1 G3	10	1.19	1.12	0.37	0.73	0.23	622	853	1.37	11.5	27.0	+	Triumph 4×PIC Camborough 22	玉米–豆粕
		Exp.1 G4	10	1.26	1.19	0.41	0.78	0.23	622	864	1.39	11.5	27.0			
		Exp.1 G5	10	1.33	1.26	0.45	0.83	0.24	646	861	1.33	11.5	27.0			
		Exp.1	10	1.40	1.33	0.50	0.87	0.26	645	866	1.35	11.5	27.0			

G6											
Exp.2 G1	11	1.05	1.01	0.29	0.67	0.23	482	693	1.43	11.5	27.0
Exp.2 G2	11	1.14	1.10	0.36	0.72	0.23	489	683	1.39	11.5	27.0
Exp.2 G3	11	1.23	1.19	0.41	0.78	0.23	518	384	1.32	11.5	27.0
Exp.2 G4	11	1.32	1.28	0.47	0.84	0.23	526	688	1.30	11.5	27.0
Exp.2 G5	11	1.41	1.37	0.52	0.89	0.24	530	678	1.28	11.5	27.0
Exp.3 G1	12	1.05	1.01	0.29	0.67	0.23	532	831	1.56	11.5	27.0
Exp.3 G2	12	1.14	1.10	0.36	0.72	0.23	549	844	1.54	11.5	27.0
Exp.3 G3	12	1.23	1.19	0.41	0.78	0.23	564	835	1.47	11.5	27.0
Exp.3 G4	12	1.32	1.28	0.47	0.84	0.23	591	856	1.45	11.5	27.0
Exp.3 G5	12	1.41	1.37	0.52	0.89	0.24	571	822	1.43	11.5	27.0
Exp.4 G1	13	1.05	1.01	0.29	0.67	0.23	538	833	1.54	11.5	27.0
Exp.4 G2	13	1.14	1.10	0.36	0.72	0.23	589	866	1.47	11.5	27.0
Exp.4 G3	13	1.23	1.19	0.41	0.78	0.23	596	851	1.43	11.5	27.0
Exp.4 G4	13	1.32	1.28	0.47	0.84	0.23	599	851	1.41	11.5	27.0
Exp.4 G5	13	1.41	1.37	0.52	0.89	0.24	610	851	1.39	11.5	27.0
Exp.4 G6	13	1.50	1.46	0.58	0.95	0.26	611	838	1.37	11.5	27.0

		Exp.5 G1	14	1.05	1.01	0.29	0.67	0.23	614	991	1.61	11.5	27.0			
		Exp.5 G2	14	1.14	1.10	0.36	0.72	0.23	624	959	1.54	11.5	27.0			
		Exp.5 G3	14	1.23	1.19	0.41	0.78	0.23	634	965	1.52	11.5	27.0			
		Exp.5 G4	14	1.32	1.28	0.47	0.84	0.23	646	958	1.47	11.5	27.0			
		Exp.5 G5	14	1.41	1.37	0.52	0.89	0.24	640	956	1.49	11.5	27.0			
		Exp.5 G6	14	1.50	1.46	0.58	0.95	0.26	646	968	1.49	11.5	27.0			
11	Fraga 等[18] (2008)	1	15	0.80	0.62	0.24	0.46	0.05	650	1 340	2.06	14.8	29.9	+	Commercial crossbred genetic group1	玉米–豆粕
		2	15	1.00	0.82	0.35	0.59	0.08	680	1 300	1.91	14.8	31.0			
		3	15	1.20	1.02	0.46	0.71	0.12	610	1 210	1.98	14.8	29.6			
		4	15	1.40	1.26	0.58	0.84	0.16	610	1 200	1.97	14.8	30.8			
12	朱绍伟等[30] (2009)	1	16	1.05	1.05	0.32	0.62	0.08	375	665	1.77	9.0	25.0	+	鲁莱配套系断奶仔猪	玉米–豆粕
		2	16	1.15	1.15	0.32	0.62	0.08	405	634	1.57	9.0	25.0			
		3	16	1.25	1.25	0.32	0.62	0.08	353	664	1.88	9.0	25.0			
		4	16	1.35	1.35	0.32	0.62	0.08	331	636	1.92	9.0	25.0			
13	Figueroa 等[19] (2012)	LP G1	17	1.01	1.00	0.31	0.60	0.05	590	970	1.64	10.6	23.0	+	长×大×皮	高粱–豆粕
		LP G2	17	1.11	1.11	0.32	0.61	0.05	600	1 020	1.70	10.6	23.2			
		LP G3	17	1.21	1.20	0.32	0.60	0.05	590	990	1.68	10.6	23.0			
14	王英[26] (2014)	Exp.2 G1	18	0.74	0.78	0.25	0.46	0.12	340	960	2.82	13.9	20.7	+	关中黑猪	玉米–豆粕–鱼粉–乳清粉
		Exp.2 G2	18	0.83	0.87	0.29	0.52	0.14	460	1 130	2.46	13.8	23.0			
		Exp.2 G3	18	0.93	0.97	0.32	0.58	0.16	400	1 020	2.55	13.7	21.7			
		Exp.2 G4	18	1.02	1.07	0.35	0.63	0.18	460	910	1.98	13.5	22.7			
		Exp.2 G5	18	1.11	1.17	0.38	0.69	0.21	420	950	2.26	13.8	22.2			

15	Nieto 等[21] (2015)	1	19	0.72	0.58	0.22	0.58	0.09	387	852	2.20	10.0	25.0	-	伊比利亚小猪	玉米–大麦–豆粕
		2	19	0.78	0.67	0.22	0.58	0.09	433	884	2.04	10.0	25.0			
		3	19	0.86	0.77	0.22	0.58	0.09	435	883	2.03	10.0	25.0			
		4	19	0.94	0.87	0.22	0.58	0.09	468	912	1.95	10.0	25.0			
		5	19	1.08	0.95	0.22	0.58	0.09	470	898	1.91	10.0	25.0			
		6	19	1.20	1.05	0.22	0.58	0.09	473	911	1.93	10.0	25.0			
16	远德龙等[29] (2015)	1	20	0.60	0.55	0.19	0.65	0.10	280	940	3.36	15.0	30.0	+	烟台黑猪	玉米–花生粕–麸皮
		2	20	0.70	0.65	0.19	0.65	0.10	340	1 100	3.24	15.0	30.0			
		3	20	0.80	0.75	0.19	0.65	0.10	410	1 210	2.95	15.0	30.0			
		4	20	0.90	0.85	0.19	0.65	0.10	390	1 170	3.00	15.0	30.0			
17	Pasquetti 等[23] (2015)	Trp0.25 G1	21	0.97	0.92	0.37	0.65	0.14	702	1 400	1.99	15.0	30.0	+	皮×（长×大）	玉米–豆粕–玉米蛋白粉
		Trp0.25 G2	21	1.11	1.06	0.37	0.65	0.14	668	1 220	1.83	15.0	30.0			
		Trp0.25 G3	21	1.25	1.20	0.37	0.65	0.14	680	1 200	1.76	15.0	30.0			
		Trp0.25 G4	21	1.39	1.35	0.37	0.65	0.14	755	1 390	1.84	15.0	30.0			